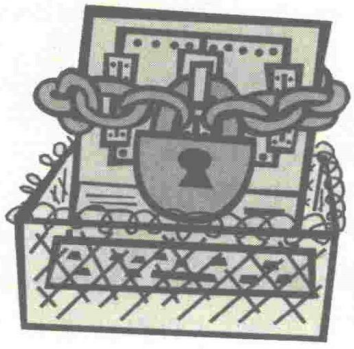
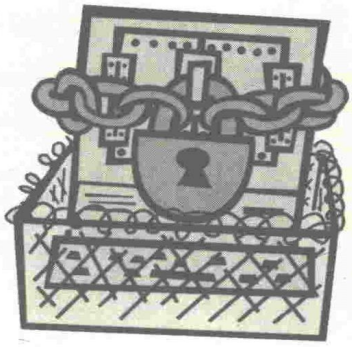
NET WORKING

พงษ์ศักดิ์ สุสัมพันธ์ไพบูลย์

Synchronous Digital Hierarchy : วิธีการป้องกันโครงข่าย



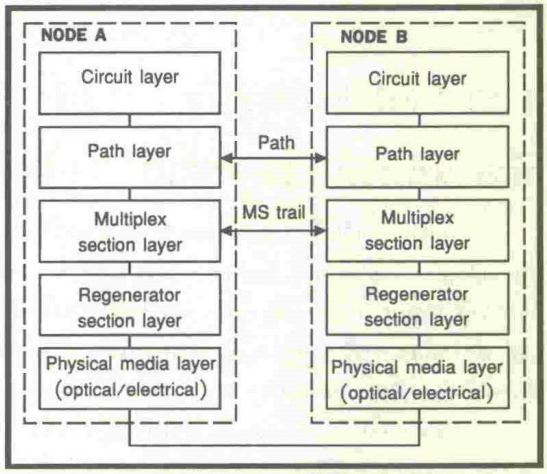


นำเสนอวิธีการป้องกันโครงข่าย SDH แบ่งเป็น 2 ประเภทหลัก ๆ คือ แบบ MS trail protection และ path protection

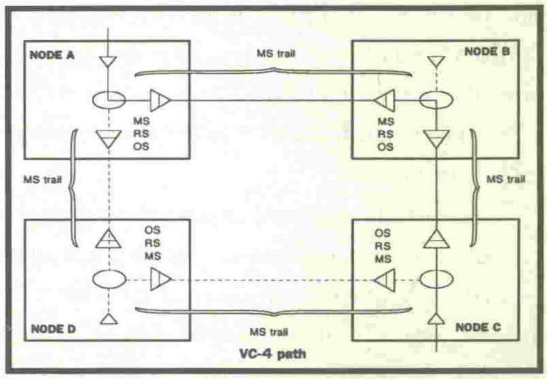
โครงข่ายระบบสื่อสัญญาณ SDH สามารถถูกแบ่งเป็นเลเยอร์หรือระดับชั้นได้เป็น physical media layer, regenerator section (RS) layer, multiplex section (MS) layer, path layer และ circuit layer ดังในรูปที่ 1

เลเยอร์ที่อยู่ล่างสุด 3 เลเยอร์จะให้บริการ transport services แก่ path layer ส่วนของ physical media layer จะให้อินเตอร์เฟส optical section (OS) หรือ electrical section (ES) แก่ regenerator section และในส่วนของเลเยอร์ RS และ MS จะกำหนดรูปแบบหรือฟอร์แมตข้อมูลในส่วนของ section overhead ของเฟรม SDH ซึ่งเป็นส่วนที่ถูกนำไปใช้ประโยชน์ในการวัดคุณภาพของการส่งข้อมูลตลอด MS trail จากต้นทางถึงปลายทาง

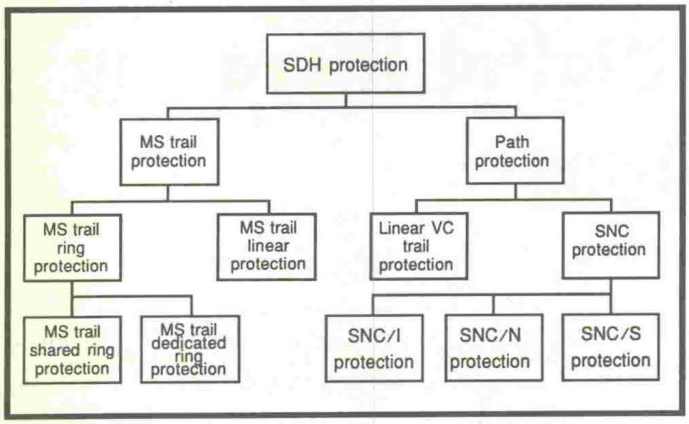
ส่วนของ path layer จะให้บริการ transport services แก่ path layer อื่นหรือ circuit layer ที่อยู่ในระดับที่สูงกว่า ส่วนของ path layer นี้ยังแบ่งออกได้เป็นระดับ higher layer (HO) และระดับ lower order (LO) คุณภาพของ path layer trail (ที่เรียกสั้น ๆ ว่า path) ถูกวัดโดย path layer trail terminator และ path overhead ส่วนของ circuit layer ที่อยู่ชั้นบนสุด จะเป็นส่วนที่ให้บริการสื่อสารโดยตรงแก่ผู้ใช้ปลายทาง



รูปที่ 1 Layered model of SDH network



รูปที่ 2 Basic SDH ring network with four ADM nodes



รูปที่ 3 Protection types

รูปที่ 2 ได้แสดงความแตกต่างระหว่าง MS trail และ path โครงข่ายตัวอย่างในรูปที่ 2 นี้จะต่อ ADM node 4 ตัวเข้าด้วยกันเป็น ring ส่วนเชื่อมต่อระหว่าง node ถูกเรียกว่า MS trail และถ้าต่อ MS trail เข้าด้วยกันตั้งแต่ 2 MS trail ขึ้นไป จะกลายเป็น path เช่น path จาก node A ไป node C จะประกอบด้วย 2 MS trail

การแบ่งประเภทของวิธีการป้องกันโครงข่าย

วิธีการป้องกันโครงข่าย SDH อาจถูกแบ่งเป็น 2 ประเภทหลัก ๆ คือ multiplex section trail protection และ path protection ตามรูปที่ 3 วิธีการป้องกันแบบ MS trail protection เป็นวิธีการป้องกันส่วนของ MS trail ส่วนเดียวเท่านั้น ขณะที่วิธีการป้องกันแบบ path protection จะป้องกัน path ทั้งหมด (ซึ่งประกอบด้วยหลาย MS trail)

วิธีการ MS trail protection สามารถถูกแบ่งเป็น MS trail linear protection และ MS trail ring protection โดย MS trail linear protection ยังมีทั้งแบบป้องกันแบบ 1+1 และ 1:n (ถ้าแบบ 1:1 จะเป็นกรณีพิเศษของ 1:n เมื่อ n = 1) ส่วนวิธีการ MS trail ring protection ยังแบ่งออกได้เป็น MS trail shared ring protection และ MS trail dedicated ring protection ซึ่ง MS trail shared protected ring อาจเป็นแบบ 2 fibers หรือ 4 fibers ขณะที่ MS trail dedicated protection ring จะเป็นแบบ 2 fibers เสมอ

วิธีการป้องกันแบบ path protection อาจแบ่งได้เป็น linear VC (virtual container) trail protection และ SNC (subnetwork connection) protection วิธีการ path protection สามารถใช้การป้องกันแบบ 1+1 หรือ 1:1 ความเป็นไปได้ของการป้องกันแบบ 1:n ยังอยู่ในช่วงทำการศึกษาอยู่ วิธี linear VC protection จะเป็นการป้องกันจากต้นทางถึงปลายทาง (end-to-end protection) ซึ่งสามารถนำมาใช้ในโครงสร้างของโครงข่ายแบบต่าง ๆ ได้ เช่น โครงข่ายแบบ mesh หรือโครงข่ายแบบ ring ส่วนวิธีการป้องกันแบบ SNC จะใช้ในการป้องกันแค่ส่วนเชื่อมต่อส่วนหนึ่งเท่านั้นของเส้นทางทั้งหมด การป้องกันแบบ SNC ยังแบ่งได้เป็น inherently monitored (SNC/I), non-intrusively monitored (SNC/N) และ sublayer monitored (SNC/S)

การเรียกชื่อวิธีการป้องกันโครงข่าย SDH มีอยู่หลากหลาย จนบางครั้งทำให้เข้าใจผิดและทำให้ดูยาก ดังนั้นในตารางที่ 1 และ 2 จึงได้เปรียบเทียบชื่อเรียกต่าง ๆ ที่ใช้ในข้อกำหนดของ ETSI, ITU และ SONET (Synchronous Optical Network) แต่ในปัจจุบันนี้ ETSI และ ITU ได้แบ่งประเภทการป้องกันเป็นแบบเดียวกัน เช่นที่กำหนดไว้ใน G.803

ผลกระทบที่เป็นสาเหตุให้เกิดการสวิตช์ของระบบป้องกัน

การสวิตช์ของระบบป้องกันมีสาเหตุมาจากการเกิด signal fail (SF) และ signal degrade (SD) การเกิด SF เป็นการแสดงถึง serious

ตารางที่ 1 MS trail protection terminology comparison

MS TRAIL PROTECTION	ETSI (DTR/TM-03025)	ITU-T (G.SHR-1)	SONET (ANSI T 1X1.5)
MS Trail Linear Protection			Linear protection switching.
1+1 single ended	supported	1+1 unidirectional[1] switching	1+1 unidirectional switching
1+1 dual ended	supported	1+1 bidirectional[1] switching	1+1 bidirectional switching
1:n single ended	supported	1:n unidirectional[1] switching	1: n unidirectional switching
1:n dual ended	supported	1: n bidirectional[1] switching	1:n bidirectional switching
MS Trail Ring Protection			Ring protection switching
2 Fibre Rings			
MS Trail Shared Protection Ring	supported	supported	MS bidirectional self healing ring (MS-BSHR/2)
MS Trail Dedicated Protection Ring	supported	under study in ITU-T	MS unidirectional selfhealing ring using line switching (MS-USHR/L)
4 Fibre Rings			
MS Trail Shared Protection Ring	under study in ETSI	supported	MS bidirectional self healing ring (MS-BSHR/4)
MS Trail Dedicated Protection Ring	not supported	under study in TU-T	not supported

[1] ITU-T G.783 term

ตารางที่ 2 Path protection terminology comparison.

Path PROTECTION	ETSI (DTR/TM-03025)	ITU-T (G.SHR-1)	SONET (ANSI T1X1.5)
Linear VC Trail Protection			
1+1 single ended	supported	supported	not supported
1+1 dual ended	supported	supported	not supported
1:1	under study in ETSI	under study in ITU-T	not supported
1:n	under study in ETSI	not supported	not supported
Subnetwork Connection Protection			Subnetwork Connection Protection switching
SNC/I			
1+1 single ended	supported	supported	1+1
SNC/N			
1+1 single ended	supported	supported	
SNC/S			
1+1 single ended	under study in ETSI	not supported	1+1
1+1 dual ended	under study in ETSI	not supported	1+1 APS
1:1	under study in ETSI	not supported	1:1 APS
1:n	under study in ETSI	not supported	1:n APS

failure ซึ่งถูกแจ้งโดยสัญญาณ AIS (alarm indication signal) ส่วนการเกิด SD แสดงถึงผลที่รุนแรงน้อยกว่า

เงื่อนไขที่แตกต่างกันถูกนำมาใช้ในการทำให้เกิดการสวิตช์ของระบบป้องกัน ขึ้นอยู่กับวิธีการป้องกันแต่ละวิธี วิธีการป้องกันแบบ MS trail protection จะใช้เงื่อนไขที่มาจากเลเยอร์ OS, RS และ MS ส่วนวิธีของ path protection นั้น นอกเหนือจากเลเยอร์เหล่านี้แล้ว ยังใช้เงื่อนไขจาก path layer มากำหนดการสวิตช์ของระบบป้องกันอีกด้วย

ผลที่ทำให้เกิดการสวิตช์ของวิธีการป้องกันแบบ MS trail protection

ผลดังกล่าวที่ได้จากส่วนของ optical section คือ loss of signal (LOS) ซึ่งจะถูกตรวจจับเมื่อระดับสัญญาณอินพุตต่ำเกินไป และมักเป็นการแสดงว่าเคเบิลได้ขาดหรือ link เกิด fail ขึ้นมา ส่วนฟังก์ชันของ regenerator section จะคอยเฝ้าตรวจการเกิด loss of frame (LOF) และ trace identifier mismatch (TIM) จากไบต์ที่อยู่ใน RSOH (regenerator section overhead) โดย LOF จะถูกตรวจจับเมื่อไม่สามารถหาจุดตั้งต้นเฟรมที่ถูกต้องได้ และสัญญาณที่มาจากต้นทางที่ผิดพลาดจะทำให้เกิดการตรวจจับ TIM MS trail terminator สามารถที่จะตรวจจับสัญญาณบอกเหตุ เช่น remote defect indicator (RDI), alarm indication signal (AIS) และ signal degraded (DEG) จาก MSOH (multiplex section overhead) โดย RDI จะเก็บข้อมูลเกี่ยวกับ far-end และไม่ก่อให้เกิด SF หรือ SD ดังนั้นจึงไม่ทำให้เกิดการสวิตช์ของการป้องกัน ส่วนข้อมูล MS-AIS จะถูกรายงานโดย AIS ที่ MS และ DEG จะถูกตรวจจับเมื่อผลของความผิดพลาดของสัญญาณที่เข้ามาต่ำกว่าระดับที่ต้องการ

ผลที่ทำให้เกิดการสวิตช์ของวิธีการป้องกันแบบ path protection

นอกเหนือจากผลกระทบที่ใช้กำหนดการสวิตช์การป้องกันของวิธี MS trail protection แล้ว วิธีการป้องกันแบบ path protection ในระดับ higher-order ยังกำหนดการสวิตช์จากการตรวจจับ loss of pointer (LOP), alarm indication signal (AIS), trace identifier mismatch (TIM), unequipped (UNEQ) และ signal degraded (DEG) การเกิด LOP และ AIS นั้นได้มาจากกลไกสถานะของ AU-pointer กลไกสถานะอาจอยู่ในสถานะ loss of pointer เมื่อค่าของ pointer ใช้การไม่ได้ และถ้ากลไกสถานะอยู่ในสถานะ AIS ดังนั้น AIS ก็จะถูกตรวจจับ ส่วนการบอกเหตุของ TIM, UNEQ และ DEG จะได้มาจากไบต์ของ VC-4 POH (path overhead) โดย TIM จะแจ้งว่าการเชื่อมต่อ HO-VC นั้นผิดพลาด ส่วน UNEQ จะเก็บข้อมูลว่าช่องสัญญาณที่จะรับนั้นได้ถูกดำเนินการจัดเส้นทางให้เรียบร้อยแล้วหรือยัง ซึ่งเป็นการแสดงถึงความสูญเสียของสัญญาณ ส่วน DEG จะถูกตรวจจับเมื่อทราฟฟิกที่ได้รับมีคุณภาพที่แย่เกินไป

นอกเหนือจากผลกระทบที่ถูกใช้โดยวิธี path protection ในระดับ higher order แล้ว วิธี path protection ในระดับ lower order ยังใช้ผลที่ได้จากกลไกสถานะของ TU-pointer และ VC-12 POH เพื่อใช้กำหนดเงื่อนไขการสวิตช์ของระบบป้องกัน กลไกของ TU-pointer จะตรวจจับ TU-AIS, TU-LOP และ LOM (loss of multiframe) โดย LOM เป็นการแสดงว่ากลไกสถานะของ TU-pointer ไม่สามารถหา multiframe ที่ถูกต้องได้ ส่วนผลกระทบที่ได้จากกลไกสถานะของ VC-12 POH ก็คือ lower order UNEQ, TIM และ DEG

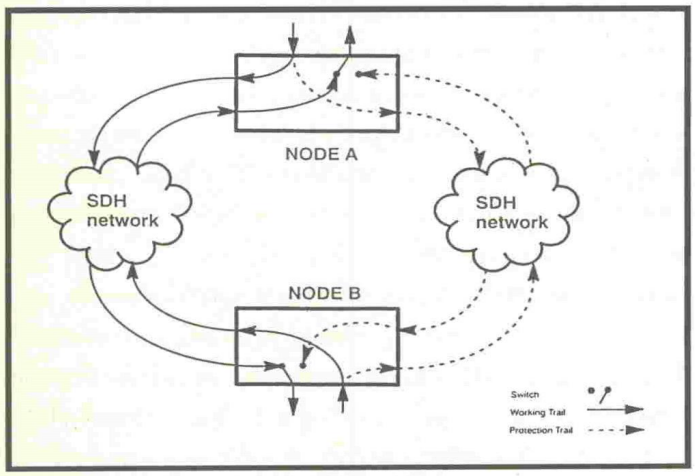
Multiplex section trail linear protection

Multiplex section trail linear protection นำมาใช้ป้องกันส่วนของ MS trail ส่วนเดียวเท่านั้น โดยจะแทนที่ MS trail ที่กำลังใช้งานด้วย MS trail ที่สำรองไว้ป้องกัน เมื่อ trail ที่กำลังใช้งานเกิด fail หรือ performance ต่ำกว่าระดับที่ต้องการ วิธี MS trail linear protection นี้อาจใช้การป้องกันแบบ 1+1 หรือ 1:n

MS trail linear 1+1 protection

- **เมื่อสถานะปกติ**

วิธีนี้จะใช้ multiplex section ที่ขนานกันไป 2 ทางจากต้นทางจนถึงปลายทาง ทั้งสองทางนี้จะต้องมี capacity ที่สามารถรองรับ capacity สูงสุดของ higher order path ได้ รูปที่ 4 แสดงวิธีการนี้ในสถานะปกติ ทราฟฟิกจะถูกส่งระหว่าง 2 multiplex sections นี้ แต่ละ multiplex section นี้อาจประกอบด้วยหลาย regenerator sections โหนดด้านที่ส่งจะถูกบริดจ์ (bridge) อย่างถาวร ด้วยเหตุนี้ทราฟฟิกจึงถูกส่งให้ทั้ง trail ที่กำลังใช้งานและ trail ที่ป้องกัน เครื่องรับจะมีสวิตช์ที่ใช้ในการเลือก trail ที่ดีกว่า โดยในสภาวะปกติ trail ที่กำลังใช้งาน จะถูกเลือก



รูปที่ 4 MS trail linear 1+1 protection under normal condition

- **เมื่อสถานะ failure และใช้การสวิตช์แบบ single-ended**

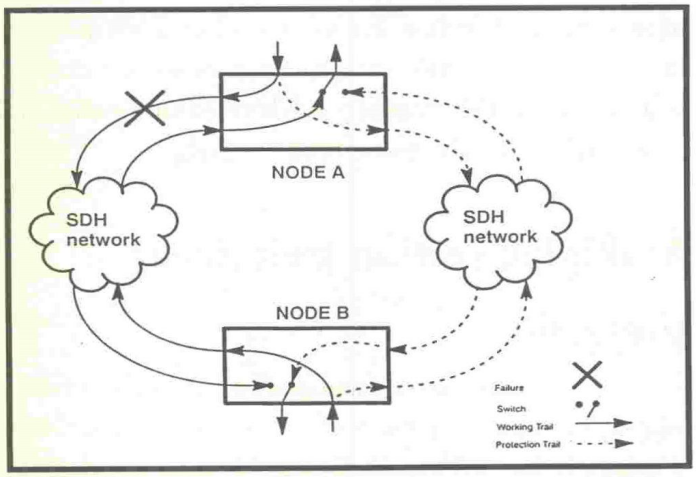
รูปที่ 5 แสดง link ของทิศทางเดียวจากโหนด A ไปโหนด B เกิด fail ขึ้นมา ดังนั้นโหนด B จะสังเกตเห็น failure (SF) และจะทำการสวิตช์จาก trail ที่กำลังใช้งานไปยัง trail ที่ใช้ป้องกัน ส่วนทราฟฟิกในทิศทางตรงข้ามจากโหนด B ไปโหนด A จะไม่ถูกสวิตช์ ดังนั้นทราฟฟิกระหว่างโหนด A และ B จะถูกจัดเส้นทางไปคนละทางกันในกรณีที่เกิด failure โดยใช้การสวิตช์แบบ single-ended

วิธีนี้เป็นวิธีการป้องกันอย่างง่ายสุด ไม่มีความต้องการโปรโตคอลสำหรับการสวิตช์การป้องกัน เพราะว่าปลายด้านหนึ่งไม่จำเป็นต้องรู้สถานะของปลายอีกด้านหนึ่ง การสวิตช์การป้องกันเกิดขึ้นเมื่อได้รับ SD หรือ SF และมีความเร็วในการสวิตช์ได้ถึง 50 ms

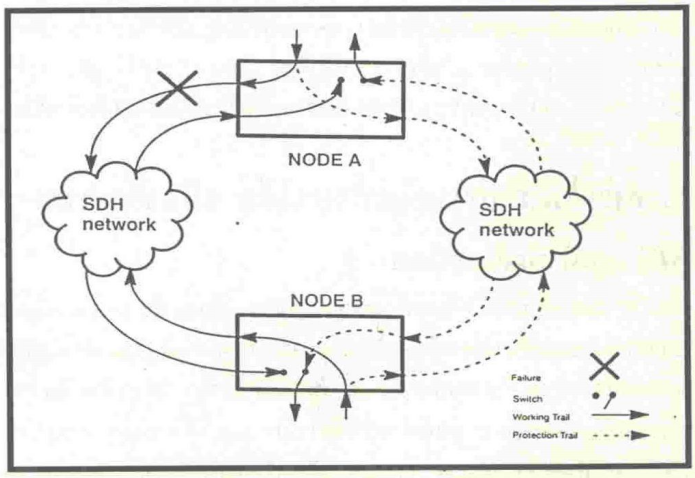
- **เมื่อสถานะ failure และใช้การสวิตช์แบบ dual-ended**

รูปที่ 6 เป็นตัวอย่างของวิธีการนี้เมื่อ link ระหว่างโหนด A และ B fail เครื่องรับที่โหนด B จะตรวจจับ failure (SF) และทำการสวิตช์จาก trail ที่กำลังใช้งานไปยัง trail ที่ใช้ป้องกัน และจากนั้นก็จะทำการส่งสัญญาณแสดงการเกิด failure ให้กับโหนด A เมื่อโหนด A ได้รับสัญญาณแสดงการเกิด SF ก็จะทำการสวิตช์จาก trail ที่กำลังใช้งานไปยัง trail ที่ใช้ป้องกัน ดังนั้นในหนทางของวิธีนี้ ทิศทางการส่งที่ไม่ได้รับผลกระทบก็จะถูกสวิตช์ด้วย ดังนั้นทราฟฟิกจึงมีเส้นทางที่ไปในทางเดียวกันทั้งสองทิศทาง

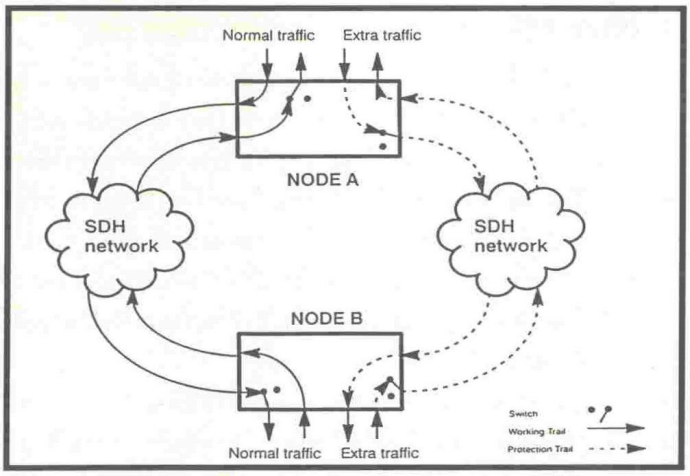
วิธีนี้ซับซ้อนมากกว่าแบบ single-ended เล็กน้อย โปรโตคอล APS (automatic protection switching) ถูกต้องการเพื่อใช้ส่งและรับ bridge request และ bridge status information ระหว่างโหนด อย่างไรก็ตาม วิธีนี้ค่อนข้างง่ายที่จะทำขึ้นมา และเวลาของการสวิตช์ 50 ms ก็สามารถทำได้



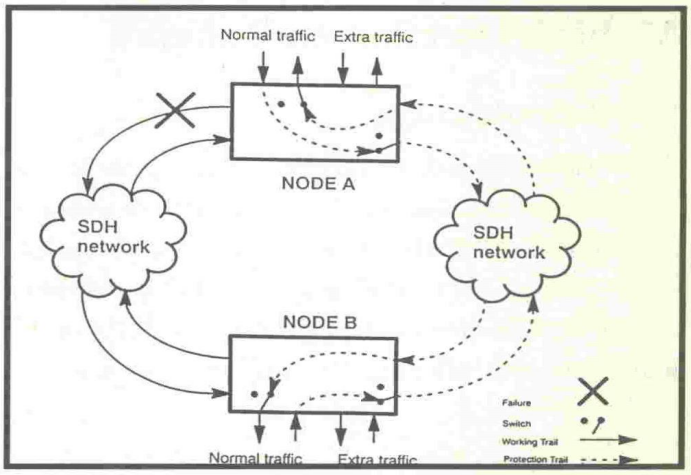
รูปที่ 5 MS trail linear 1+1 single ended protection under failure condition.



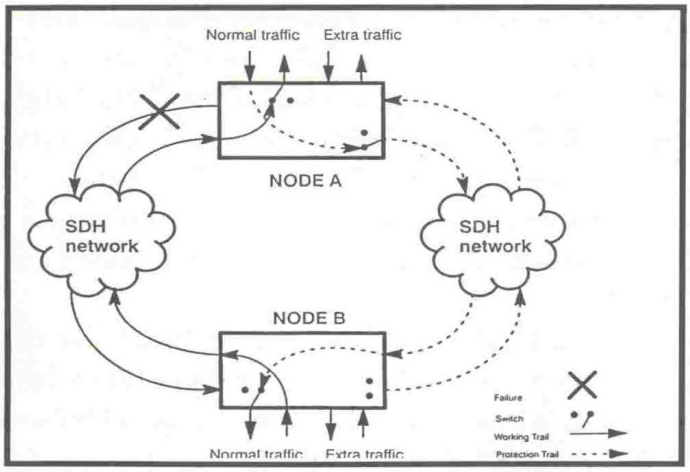
รูปที่ 6 MS trail linear 1+1 dual ended protection under failure condition.



รูปที่ 7 MS trail linear 1:1 protection under normal condition.



รูปที่ 9 MS trail linear 1:1 dual ended protection under failure condition.



รูปที่ 8 MS trail linear 1:1 single ended protection under failure condition.

MS trail linear 1:n protection

- **เมื่อสถานะปกติ**

วิธีนี้ใช้ในการป้องกัน trail ที่กำลังใช้งานอยู่ n trail ด้วย trail ที่สำรองไว้ป้องกัน 1 trail การป้องกันแบบ 1:n บ่อยครั้งถูกเรียกว่าเป็นการป้องกันที่ใช้ร่วมกัน เพราะว่าในสภาวะปกติ แต่ละ trail ที่กำลังใช้งานมีสิทธิ์ที่จะใช้ trail ที่สำรองไว้ป้องกัน ตามปกติแล้วในสภาวะปกติ trail ที่สำรองไว้ป้องกันจะมี extra traffic ซึ่งเป็น low priority traffic วิ่งอยู่ แต่ทราฟฟิกนี้จะถูกตัดทิ้งไปเมื่อ trail นี้ถูกนำไปใช้ป้องกัน trail ใด trail หนึ่งใน n trail ที่เกิด failure ขึ้นมา

รูปที่ 7 แสดงตัวอย่างของวิธีนี้ที่ใช้การป้องกันแบบ 1:1 ซึ่งเป็นกรณีหนึ่งของ 1:n (n = 1) โดยมีช่องสัญญาณที่กำลังใช้งานอยู่ช่องเดียว เท่านั้น โหนด A และ B จะส่งทราฟฟิกปกติที่ถูกป้องกันบน trail ที่กำลังใช้งาน และส่ง extra traffic ที่ไม่ถูกป้องกันบน trail ที่ใช้ป้องกัน เครื่องรับก็จะทำการเลือกทราฟฟิกปกติจาก trail ที่กำลังใช้งานและ extra traffic จาก trail ที่ใช้ป้องกัน

- **เมื่อสถานะ failure และใช้การสวิตช์แบบ single-ended**

รูปที่ 8 แสดงตัวอย่างของวิธีนี้เมื่อทราฟฟิกปกติจากโหนด A ไปโหนด B fail ขึ้นมา โหนด B จะตรวจจับ failure (SF) นี้และส่ง bridge request ไปยังโหนด A โหนด A จะทำการบริดจ์และส่ง acknowledgement มาให้โหนด B ซึ่งโหนด B ก็จะสวิตช์จาก trail ที่กำลังใช้งานไปยัง trail ที่ใช้ป้องกัน ส่วนทิศทางการส่งที่ไม่ได้รับผลกระทบ จะไม่ถูกสวิตช์

โปรโตคอล APS นำมาใช้เพื่อให้การทำงานของสวิตช์เหมาะสมที่โหนดด้านส่งและโหนดด้านรับ และเช่นเดียวกับกรณีก่อน ๆ เวลาที่ใช้สำหรับการสวิตช์ป้องกันเพียง 50 ms เท่านั้น

- **เมื่อสถานะ failure และใช้การสวิตช์แบบ dual-ended**

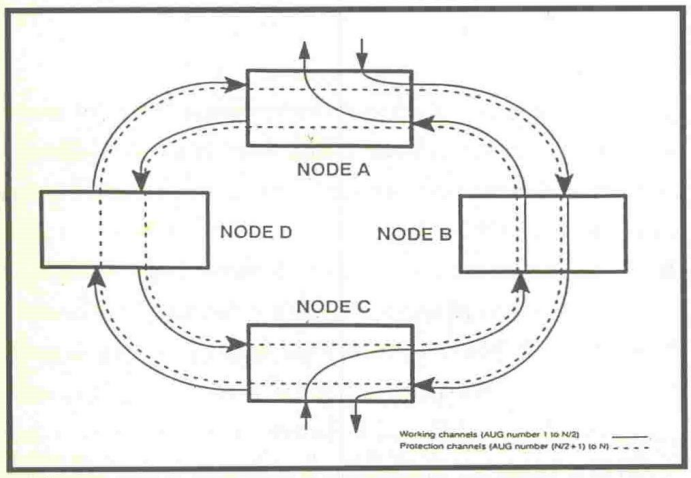
วิธีการสวิตช์แบบ dual-ended จะต่างจากวิธีการสวิตช์แบบ single-ended ตรงที่ทิศทางการส่งที่ไม่ได้รับผลกระทบก็จะถูกสวิตช์ไปยังช่องสัญญาณป้องกันภายหลังการเกิด failure

รูปที่ 9 แสดงวิธีการแบบนี้เมื่อทราฟฟิกที่ส่งจากโหนด A ไปโหนด B fail โหนด B จะตรวจจับ failure (SF), เลิกการส่ง extra traffic และส่ง bridge request ไปยังโหนด A โหนด A ก็จะทำการบริดจ์และส่ง acknowledgement กลับมายังโหนด B ซึ่งโหนด B ก็จะทำการบริดจ์, สวิตช์ และแจ้งโหนด A โหนด A ก็จะเลือกทราฟฟิกปกติจาก trail ที่ใช้ป้องกัน เป็นอันสิ้นสุดกระบวนการ

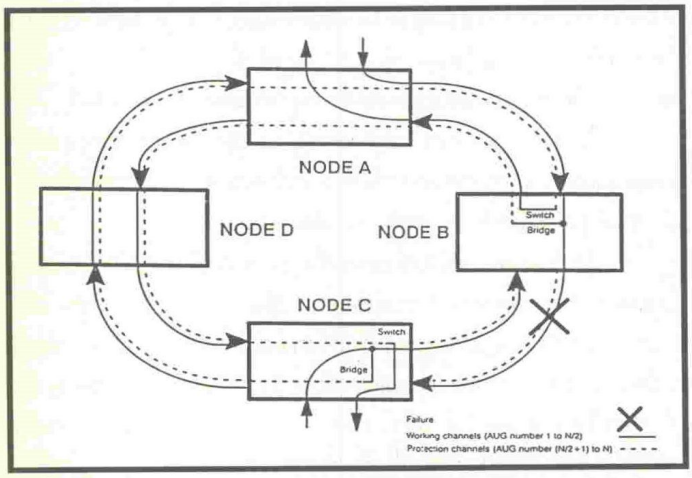
โปรโตคอล APS นำมาใช้ผสานการทำงานของบริดจ์และสวิตช์ เวลาที่ใช้สำหรับการสวิตช์ที่ต้องการคือ 50 ms

Multiplex section trail shared protection rings

Multiplex section trail shared protection ring (MS-SPRING) เป็นวิธีการป้องกัน multiplex section อันเนื่องมาจาก link failures และ node failures ซึ่งถูกตรวจจับโดย regenerator section หรือ multiplex sections Capacity ที่สำรองไว้ป้องกัน ถูกนำมาใช้ร่วมกันเพื่อป้องกัน capacity ที่กำลังใช้งานของ multiplex section ใด ๆ ที่อยู่ใน ring วิธีการป้องกันแบบนี้อาจเป็นแบบ 2-fiber ring หรือ 4-fiber ring



รูปที่ 10 Two fibre MS trail shared protection ring under normal condition.



รูปที่ 11 Two fibre MS trail shared protection ring under link failure.

2-fiber MS trail shared protection ring

ring ที่ใช้วิธีนี้จะเป็น ring แบบ 2 ทิศทาง (bidirectional) แต่ละทิศทางใช้ fiber 1 core Capacity ทั้งหมดใน 1 multiplex section หรือ 1 core จะถูกแบ่งเป็น 2 ส่วนเท่า ๆ กัน ส่วนหนึ่งสำหรับใช้งานตามปกติ อีกส่วนหนึ่งสำรองไว้ใช้ป้องกัน ในกรณีของสัญญาณ STM-16 8 AUG แรกเป็นช่องสัญญาณใช้งานตามปกติ ส่วน 8 AUG สุดท้ายใช้เป็นช่องสัญญาณสำรองไว้ป้องกัน ในกรณีที่เกิด failure ทราฟฟิกที่ถูกขัดจังหวะ จะถูกบริดจ์ให้ส่งในทิศทางตรงกันข้ามโดยใช้ capacity ที่สำรองไว้ใน fiber อีก core หนึ่ง

รูปที่ 10 แสดงการทำงานของ ring ที่ใช้วิธีการป้องกันแบบนี้ ทราฟฟิกจะถูกส่งจากโหนด A ไปโหนด C และกลับกัน ทราฟฟิกอาจจะไปทางด้านโหนด B หรือโหนด D แต่ทราฟฟิกทั้งขาไปและขากลับจะต้องไปทางด้านเดียวกัน

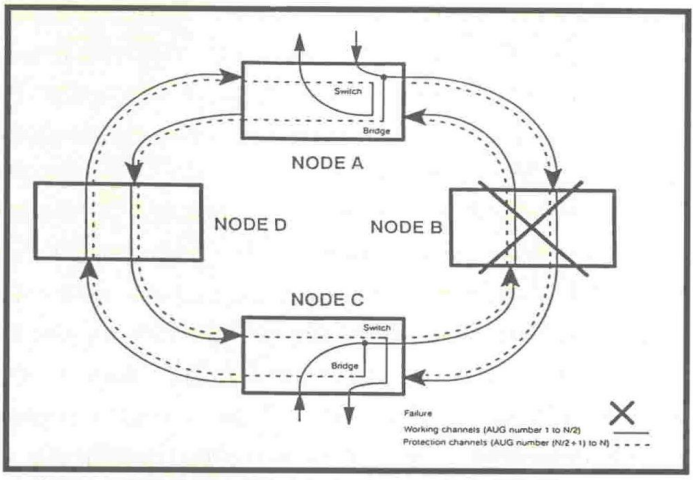
ในกรณีที่เกิด failure ขึ้นมา สวิตช์ป้องกันที่อยู่ทั้งสองข้างของจุดที่เกิด failure จะทำงานโดยจะสวิตช์ทราฟฟิกจาก capacity ที่ใช้งานไปยัง capacity ที่สำรองไว้ป้องกันในอีก core หนึ่ง และในทำนองกลับกัน ก็จะสวิตช์ทราฟฟิกจาก capacity ที่สำรองไว้ป้องกันไปยัง capacity ที่มีไว้ใช้งานตามปกติในอีก core หนึ่งด้วย ในกรณีของ STM-16 AUG หมายเลข 1 จะถูกวนหรือลูป (loop) ไปยัง AUG หมายเลข 9, AUG หมายเลข 2 ถูกลูปไปยัง AUG หมายเลข 10, AUG หมายเลข 3 ถูกลูปไปยัง AUG หมายเลข 11 เรื่อยไปจนถึง AUG หมายเลข 8 ถูกลูปไปยัง AUG หมายเลข 16

การลูปป้องกันจากการที่ link failure แสดงในรูปที่ 11 ทราฟฟิกใช้งานที่ถูกส่งจากโหนด A ไปโหนด C จะถูกบริดจ์ในโหนด B ไปเข้า trail ป้องกันในอีก core หนึ่ง แล้ววิ่งผ่านโหนด A และ D ไปยังโหนด C ซึ่งจะถูกสวิตช์กลับเข้า trail ใช้งานใน core เดิม

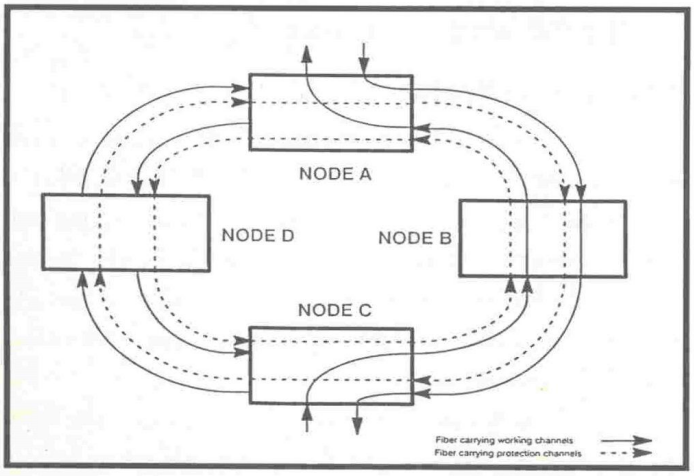
วิธีการป้องกันแบบนี้เป็นวิธีการป้องกันแบบ dual-ended นั่นคือทิศทางการส่งที่ไม่ได้รับผลกระทบก็จะเปลี่ยนเส้นทางด้วย เช่น ทราฟฟิกจากโหนด C ไปโหนด A ต้องถูกบริดจ์ในโหนด C และส่งไปยังโหนด A โดยผ่านโหนด D, A และ B ตามลำดับก่อน ดังแสดงในรูปที่ 11

รูปที่ 12 เป็นตัวอย่างในกรณีที่เกิด node failure ขณะที่กำลังใช้วิธีการป้องกันแบบ 2-fiber MS-SPRING ทราฟฟิกใช้งานที่ถูกส่งจากโหนด A ไปโหนด C จะถูกบริดจ์ในโหนด A และวิ่งไปยังโหนด C โดยผ่านโหนด D เมื่อมาถึงโหนด C ทราฟฟิกก็จะถูกสวิตช์กลับเข้า trail ใช้งานใน core เดิม ส่วนทราฟฟิกใช้งานจากโหนด C ก็จะถูกบริดจ์และถูกส่งไปยังโหนด A โดยผ่านโหนด D เมื่อมาถึงโหนด A ทราฟฟิกก็จะถูกสวิตช์กลับเข้า trail ใช้งานใน core เดิม

เมื่อสามารถแก้ failure ที่เกิดขึ้นได้แล้ว การลูปก็จะถูกยกเลิกและกลับสู่สภาพปกติ ในช่วงขณะที่ไม่มี failure capacity ที่สำรองไว้ป้องกันสามารถนำมาใช้ส่ง extra traffic ที่มีลำดับความสำคัญต่ำกว่าและจะไม่ถูกป้องกัน การบริดจ์และการสวิตช์จะถูกควบคุมด้วยโปรโต-



รูปที่ 12 Two fibre MS trail shared protection ring under node failure.



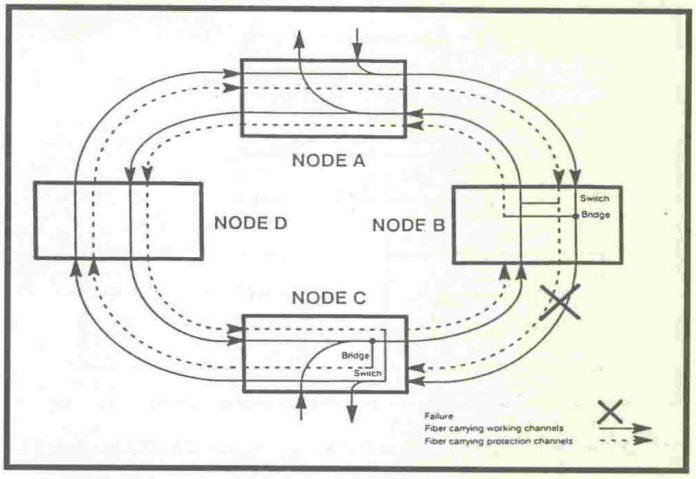
รูปที่ 13 Four fibre MS trail shared protection ring under normal condition

คอล APS เวลาที่ใช้ในการสวิตช์ป้องกันจากการตรวจจับ SF หรือ SD จะน้อยกว่า 50 ms สำหรับ ring ที่มีความยาว fiber น้อยกว่า 1200 km (ถ้าไม่มี extra traffic หรือ switch requests อยู่ก่อนหน้านี้)

4-fiber MS trail shared protection ring

ในวิธีนี้แต่ละโหนดถูกต่อเข้าด้วยกันด้วย fiber 4 เส้นหรือ 4 core ทราฟฟิกใช้งานถูกส่งแบบ 2 ทิศทาง โดยใช้ fiber 2 core สำหรับใช้งานตามปกติ และอีก 2 core สำหรับใช้ป้องกัน

รูปที่ 13 แสดงตัวอย่างของ ring ที่ใช้วิธีการป้องกันแบบนี้ในสภาวะปกติ ทราฟฟิกใช้งานจะถูกส่งทาง trail ใช้งานจากโหนด A ไปโหนด C ผ่านทางโหนด B และในทิศทางกลับกันก็เช่นเดียวกัน ทราฟฟิกใช้งานทั้งสองทิศทางนี้จะต้องถูกส่งไปในทางเดียวกัน

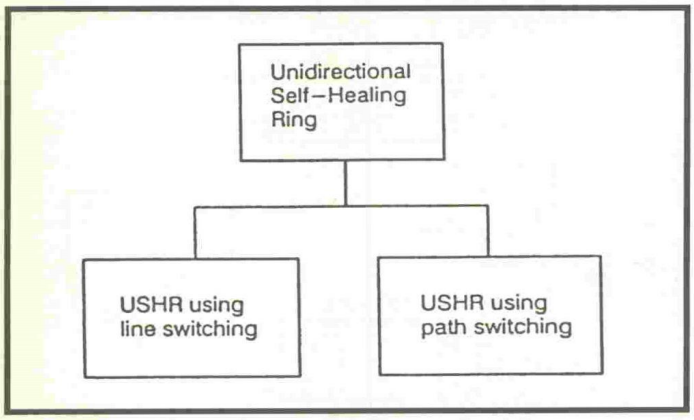


รูปที่ 14 Four fibre MS trail shared protection ring using ring swicthing under failure condition.

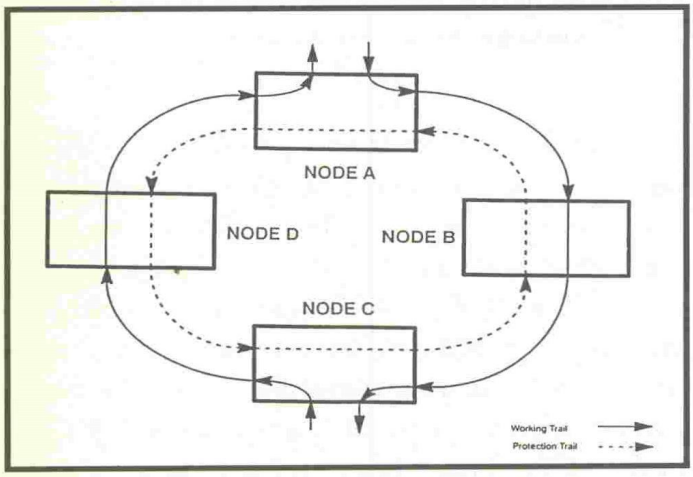
ring ที่ใช้การป้องกันแบบนี้สามารถรองรับการสวิตช์ได้ทั้งแบบ ring switching และ span switching ในกรณีของ ring switching trail ใช้งานที่ fail จะถูกแทนที่ด้วย trail ป้องกันในทิศทางตรงข้ามโดยรอบ ring ตัวอย่างนี้แสดงในรูปที่ 14 trail ใช้งานที่ fail ระหว่างโหนด B และ C จะเป็นสาเหตุให้ทราฟฟิกใช้งานถูกบริดจ์จาก trail ใช้งานไปยัง trail ป้องกันในโหนด B และถูกส่งไปยังโหนด C ผ่านทางโหนด A และ D เมื่อถึงโหนด C ก็จะถูกสวิตช์กลับเข้า trail ใช้งานเดิม กระบวนการสวิตช์จะเป็นแบบ dual-ended ดังนั้นแม้แต่ทราฟฟิกที่ไม่ได้รับผลกระทบที่วิ่งจากโหนด C ไปโหนด A ก็จะถูกลูปด้วย

ในกรณีของ span switching (span ถูกกำหนดเป็นเซตของ multiplex sections ใน ring) ring ที่ใช้การป้องกันแบบนี้สามารถถูกใช้กับ span switching ได้ด้วยถ้า trail ที่ fail คือ trail ใช้งานเท่านั้น ส่วน trail ป้องกันของ span เดียวกันยังคงใช้การได้ การสวิตช์ป้องกันจึงเป็นเพียงสวิตช์ทราฟฟิกส่งไปทาง trail ป้องกันที่อยู่ใน span เดียวกับ trail ที่ fail เนื่องจากลักษณะการทำงานคล้ายกับวิธี MS trail linear 1:1 protection ทำให้ผลตอบสนองของวิธี 4-fiber MS-SPRING ที่ใช้ span switching เป็นเช่นเดียวกับวิธี MS trail linear 1:1 protection

ฟังก์ชัน loop-back ของ ring switchnig จะป้องกันปัญหาเคเบิลขาด ที่ทำให้ทั้ง trail ใช้งานและ trail ป้องกันในทิศทางหนึ่งเกิด fail ขึ้นมา ส่วนการป้องกันของ span switching จะป้องกันในกรณีที่ fiber เส้นเดียวหรือ core เดียวเท่านั้นขาด รวมถึงกรณีที่อุปกรณ์เกิด failure ขึ้นมาด้วย การทำงานของบริดจ์และสวิตช์จะถูกควบคุมโดยโปรโตคอล APS การทำงานของโปรโตคอลและฟังก์ชันของวิธี 4-fiber multiplex section ring protection ยังอยู่ในช่วงทำการศึกษาโดย ETSI ซึ่ง ณ ขณะนี้ดูเหมือนว่าวิธี 4-fiber MS-SPRING จะยังไม่ถูกเสนอโดย ETSI ในอนาคตอันใกล้นี้



รูปที่ 15 SONET classification for Unidirectional Self-Healing Ring



รูปที่ 16 DPRING using line switching under normal condition.

Dedicated protection rings

Dedicated protection ring (DPRING) อาจใช้การป้องกันแบบ 1+1 หรือ 1:1 ring แบบนี้จะเป็น ring แบบทิศทางเดียว (unidirectional ring) ซึ่งทราฟฟิกใช้งานจะถูกส่งในทิศทางหนึ่ง (ตามเข็มนาฬิกา) และทราฟฟิกป้องกันถูกส่งในอีกทิศทางหนึ่ง (ทวนเข็มนาฬิกา) ถ้าเกิด failure ขึ้น trail ใช้งานจะถูกแทนที่โดย trail ที่ใช้ป้องกัน

SONET ได้เรียก dedicated protection ring ว่า uni-directional self healing ring (USHR) รูปที่ 15 แสดงให้เห็นว่า SONET ได้แบ่ง uni-directional self healing ring ออกเป็นแบบที่ใช้ line switching (USHR/L) และแบบที่ใช้ path switching (USHR/P) USHR ที่ใช้ line switching จะตรงกับ multiplex section trail dedicated ring protection ของ ETSI และให้การป้องกันการเกิด failures ของ multiplex section เช่น เคเบิลขาดหรืออุปกรณ์ทางแสงเกิด failures ส่วน uni-directional self healing ring ที่ใช้ path switching จะให้การป้องกันการเกิด failures ของ VC-trail ดังนั้นจึงถูกพิจารณาว่าเป็นวิธี path protection ด้วย ในปัจจุบัน ETSI ยังไม่มีรูปแบบการป้องกันที่ตรงกับ uni-directional self healing ring ที่ใช้ path switching ของ SONET

รูปแบบสถาปัตยกรรมของ dedicated protection ring ยังคงอยู่ในช่วงทำการศึกษาอยู่ การทำมาตรฐานของโปรโตคอล APS เป็นเรื่องยาก จึงทำให้เกิดความล่าช้าในการพัฒนา USHR/L ของ SONET ซึ่งต้องใช้ APS ในการสวิตช์ป้องกัน ส่วน USHR/P ไม่ต้องใช้ APS จึงถูกวางแผนที่จะนำมาใช้ แต่เดิมเนื่องจากความยากในการพัฒนา USHR/L แต่ทุกวันนี้ดูเหมือนว่าการนำ APS มาใช้กับ dedicated protection ring เป็นเรื่องง่ายขึ้น ดังนั้นจึงไม่มีการพัฒนา USHR/P อีกต่อไป อย่างไรก็ตาม การทำงานของ USHR/P สามารถทำได้โดยวิธี VC trail linear 1+1 protection ที่ใช้ single-ended switching ซึ่งจะกล่าวต่อไปภายหลัง

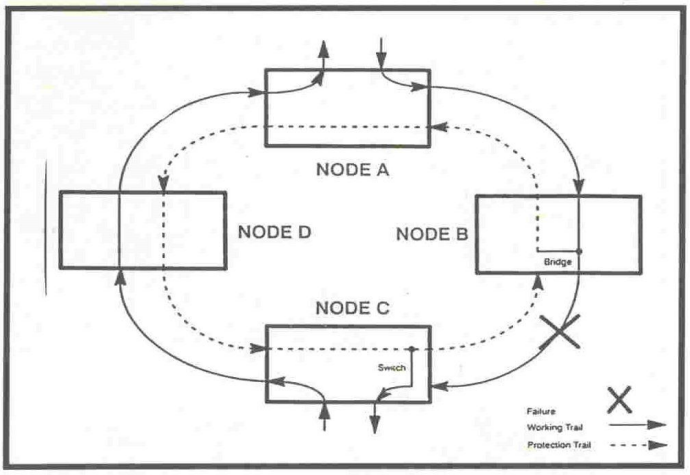
Dedicated protection ring ที่ใช้ line switching

Dedicated protetion ring สามารถถูกใช้กับ line switching เพื่อที่จะป้องกัน MS trail วิธีนี้จะแยก trail ที่ใช้งานกับ trail ที่ใช้ป้องกันออกจากกัน ในสภาวะปกติ (เมื่อไม่มี failures) ทราฟฟิกจะถูกส่งทาง trail ที่ใช้งานเท่านั้น ส่วน trail ที่ใช้ป้องกันยังคงไม่นำมาใช้ ในกรณีที่เกิด failures ขึ้น โหนดที่อยู่ใกล้ failure จะลูปทราฟฟิกจาก trail ที่ใช้งานไปยัง trail ที่ใช้ป้องกัน และจะลูปกลับมายัง trail ที่ใช้งานเดิมที่โหนดอีกด้านหนึ่งของ failure

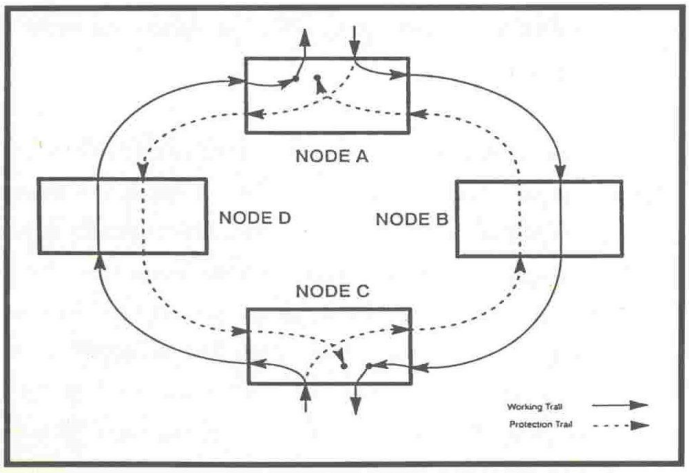
รูปที่ 16 แสดงการส่งทราฟฟิกระหว่างโหนด A และ C ในสภาวะปกติ เครื่องส่งถูกต่อไปยัง trail ใช้งานเท่านั้น และเครื่องรับก็จะเลือกสัญญาณที่มาจาก trail ที่ใช้งาน ส่วน trail ที่ใช้ป้องกันจะยังไม่ถูกใช้และถูกต่อผ่านตลอดทุกโหนด

Dedicated protection ring ที่ใช้ line switching ในสภาวะที่เกิด failure ถูกแสดงในรูปที่ 17 โหนด C จะสังเกตการเกิด failure ระหว่างโหนด B และ C จากการได้รับ SF และจะทำการลูปโดยการสวิตช์จาก trail ที่ใช้ป้องกันมายัง trail ที่ใช้งาน จากนั้นก็จะส่งสัญญาณแสดงการ SF ไปยังโหนด B ซึ่งโหนด B ก็จะทำการลูปโดยการบริดจ์ทราฟฟิกใช้งานเข้าไปยัง trail ที่ใช้ป้องกัน ทราฟฟิกก็จะวิ่งมายังโหนด C โดยผ่านโหนด A และ D ตามลำดับ

Dedicated protection ring ที่ใช้ line switching จะต้องใช้โปรโตคอล APS เพื่อที่จะสามารถส่งและรับ protection switching requests และสถานะของ trails โดยรอบ ring โปรโตคอลที่ถูกใช้ควรจะเป็นเช่นเดียวกับที่ใช้ใน multiplex section trail linear protection ความเป็นไปได้ที่จะส่ง extra traffic ใน trail ที่ใช้ป้องกัน ยังอยู่ในช่วงระหว่างศึกษาโดย ETSI



รูปที่ 17 DPRING using line switching under failure condition.

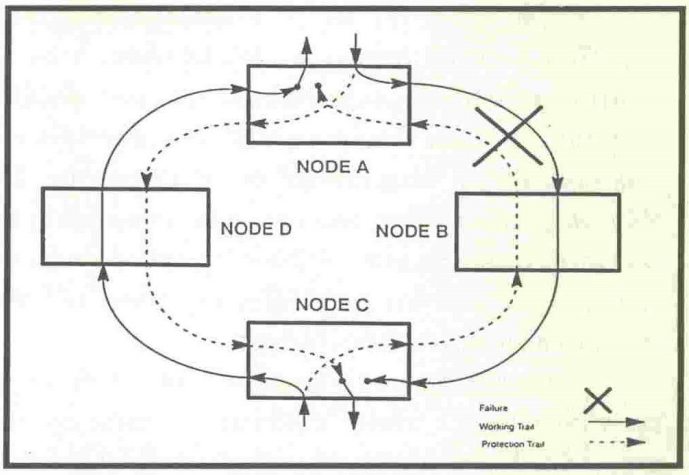


รูปที่ 18 DPRING using path switching under normal condition.

Dedicated protection ring ที่ใช้ path switching

Dedicated protection ring สามารถถูกใช้กับ path switching เพื่อที่จะป้องกัน VC path ลักษณะการป้องกันแบบนี้จะเป็นแบบ 1+1 single-ended โหนดด้านส่งจะถูกบริดจ์อย่างถาวร ดังนั้นทราฟฟิกจึงถูกส่งออกไปทั้ง trail ที่ใช้งานและ trail ที่ใช้ป้องกัน ด้านเครื่องรับจะมีสวิตช์ที่ทำการเลือกสัญญาณที่จะรับเข้ามา

รูปที่ 18 แสดงการทำงานในสภาวะปกติ ทราฟฟิกจะถูกส่งระหว่างโหนด A และ C โหนด A และ C จะส่งทราฟฟิกออกไปทั้ง trail ที่ใช้งานและ trail ที่ใช้ป้องกัน ด้านเครื่องรับก็จะทำการเฝ้าตรวจสัญญาณที่เข้ามาทั้งสองทาง เพื่อตรวจ alarms และเลือกรับสัญญาณด้านที่ดีกว่า ถ้าไม่มี failures เกิดขึ้น สัญญาณจาก trails ที่ใช้งานตามปกติจะถูกเลือก



รูปที่ 19 DPRING using path switching under failure condition.

รูปที่ 19 แสดงกรณีที่เกิด failure ขึ้น ถ้า link ระหว่างโหนด A และ B เกิด fail ขึ้น โหนด C ก็จะสังเกตพบและทำการสวิตช์จาก trail ที่ใช้งานมายัง trail ที่ใช้ป้องกัน ส่วนทางด้านโหนด A จะไม่มีอะไรเกิดขึ้น ดังนั้นการสวิตช์ป้องกันจึงเป็นแบบ single-ended จากรูปยังพบอีกว่า ถึงแม้ทราฟฟิกจากโหนด A ไป C จะเปลี่ยนเส้นทาง แต่ทราฟฟิกจากโหนด C ไป A ยังคงไม่เปลี่ยนเส้นทาง

การสวิตช์ป้องกันนั้นง่ายมากและไม่ต้องใช้โปรโตคอล APS การเริ่มต้นที่จะทำการสวิตช์ขึ้นอยู่กับข้อมูลที่ได้จากการเฝ้าตรวจเส้นทาง เช่น path AIS

Linear VC trail protection

Linear VC trail protection เป็นการป้องกันในระดับ path layer ซึ่งสามารถนำมาใช้ทั้งในระดับ lower-order และ higher-order ของ path layer วิธีนี้ใช้ในการป้องกัน trail ที่พาดข้ามเครือข่ายของ operator รายเดียวหรือหลาย operator ก็ได้ การป้องกันถูกดำเนินการโดยการแทน VC trail ที่ใช้งานด้วย VC trail ที่ใช้ป้องกันเมื่อ VC trail ที่ใช้งานเกิด fail ขึ้นมาหรือมี performance ต่ำกว่าระดับที่ต้องการ

การทำงานของ linear VC trail protection อย่างน้อยที่สุดควรจะต้องรองรับการป้องกันแบบ linear dedicated protection (1+1 และ 1:1) แต่มีการพิจารณาบ้างเกี่ยวกับการรองรับการป้องกันแบบ linear shared protection (1:n) ด้วย การทำงานของวิธี linear VC trail protection นี้มีลักษณะเช่นเดียวกับวิธี multiplex section trail linear protection ยกเว้นแต่ว่า SDH network ในรูปที่ 4-9 อาจรวม terminal multiplexers (TM) และ add-drop multiplexer (ADM) เข้าไว้ด้วย ไม่จำเป็นต้องมี regenerator ได้อย่างเดียวเท่านั้น

การป้องกันแบบ 1+1 และ 1:1 จะมีช่องสัญญาณที่สำรองไว้ป้องกันโดยเฉพาะสำหรับ VC trail การป้องกันทั้งแบบ 1+1 และ 1:1 จะรองรับการสวิตช์ทั้งแบบ single-ended และ dual-ended เมื่อใช้การสวิตช์แบบ single-ended ทิศทางการส่งที่ได้รับผลกระทบเท่านั้น (คือที่เกิด failure เท่านั้น) ที่จะถูกเปลี่ยนเส้นทาง ส่วนทิศทางการส่งที่ไม่ได้รับผลกระทบยังคงใช้เส้นทางเดิม แบบนี้จะง่ายแต่ความล่าช้า (delay) ที่แตกต่างกันในแต่ละเส้นทางอาจทำให้เกิดปัญหาได้ ส่วนการสวิตช์แบบ dual-ended ทิศทางการส่งทั้งที่ได้รับผลกระทบและไม่ได้รับผลกระทบจะถูกสวิตช์เปลี่ยนเส้นทางไปด้วยกัน

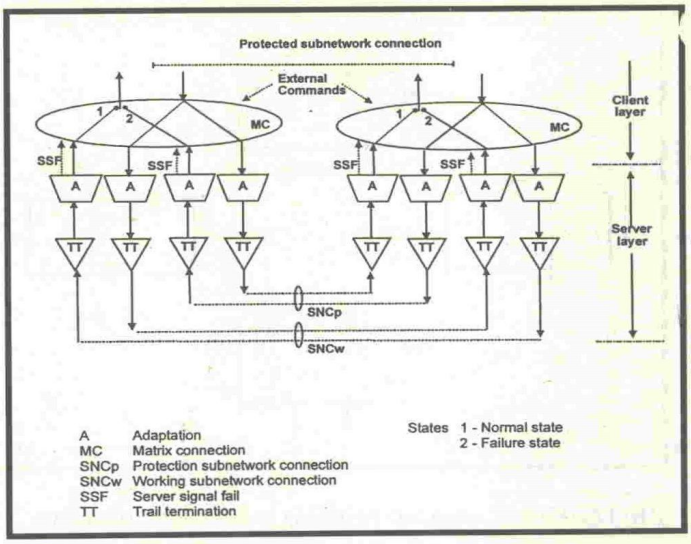
trail ที่ถูกป้องกันแบบ 1+1 จะถูกบริดจ์อย่างถาวรที่เครื่องส่ง แต่ในการป้องกันแบบ 1:1 บริดจ์จะไม่ถาวรและ extra traffic อาจถูกส่งทาง trail ที่ใช้ป้องกันได้ด้วย ทางด้านเครื่องรับ ปกติ trail ที่ใช้งานจะถูกเลือก ถ้า trail ที่ใช้งานเกิด failure ขึ้น เครื่องรับก็จะสังเกตพบ SF ถ้าเป็นการป้องกันแบบ 1+1 single-ended เครื่องรับก็เพียงแต่สวิตช์ไปยัง trail ที่ใช้ป้องกัน แต่ถ้าเป็นแบบ dual-ended ปลายอีกด้านต้องถูกแจ้งให้สวิตช์ด้วย ส่วนในการป้องกันแบบ 1:1 ถ้ามี extra traffic ก็จะต้องถูกระงับก่อนที่การสวิตช์ป้องกันจะเริ่มขึ้น การป้องกันแบบ 1:n ยังอยู่ในช่วงทำการศึกษาโดย ETSI

โปรโตคอล APS ถูกใช้ในการสื่อสารระหว่างเครื่องรับและเครื่องส่งเมื่อมีการใช้การป้องกันแบบ 1+1 dual-ended หรือ 1:1 การทำงานของ APS จะต้องรวดเร็วเท่าที่เป็นไปได้ เพื่อให้เวลาที่ใช้ในการสวิตช์ป้องกันเท่ากับ 50 ms

Subnetwork connection protection

Subnetwork connection protection (SNC) เป็นการป้องกันในระดับ path layer ซึ่งสามารถนำมาใช้ทั้งในระดับ lower-order และ higher-order ของ path layer เพื่อใช้ในการป้องกันการเชื่อมต่อย่อย ๆ ที่เป็นส่วนหนึ่งของเส้นทางทั้งหมดในเครือข่าย วิธี SNC นี้บางส่วนยังคงมีการศึกษาเพิ่มเติมโดย ETSI และ ITU จึงยังไม่สมบูรณ์ 100 เปอร์เซ็นต์ นอกจากนี้ควรที่จะต้องรองรับการป้องกันแบบ 1+1 และ 1:1 รวมทั้งพิจารณาที่จะรองรับ 1:n ด้วย SNC สามารถนำมาใช้ในโครงข่ายแบบต่าง ๆ ได้ เช่น โครงข่ายแบบ mesh, แบบ ring และอื่น ๆ หลักการทำงานของ SNC แบบ 1+1, 1:1 และ 1:n มีลักษณะเช่นเดียวกับวิธี multiplex section trail linear protection ยกเว้นแต่ว่า SDH network ในรูปที่ 4-9 อาจประกอบไปด้วยหลาย multiplex sections ก็ได้

การป้องกันแบบ SNC นี้ สามารถถูกแบ่งออกเป็น SNC/I, SNC/N และ SNC/S ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับข้อมูลที่นำมาใช้ในการตัดสินใจในการสวิตช์ป้องกัน แนวความคิดทั่วไปของวิธีการนี้คือ ต้องการแทนที่การเชื่อมต่อที่กำลังใช้งานอยู่ด้วยการเชื่อมต่อที่ใช้สำหรับการป้องกัน ในกรณีที่การเชื่อมต่อที่ใช้งานอยู่แต่เดิมเกิด fail หรือมี performance ต่ำกว่าระดับที่ต้องการ

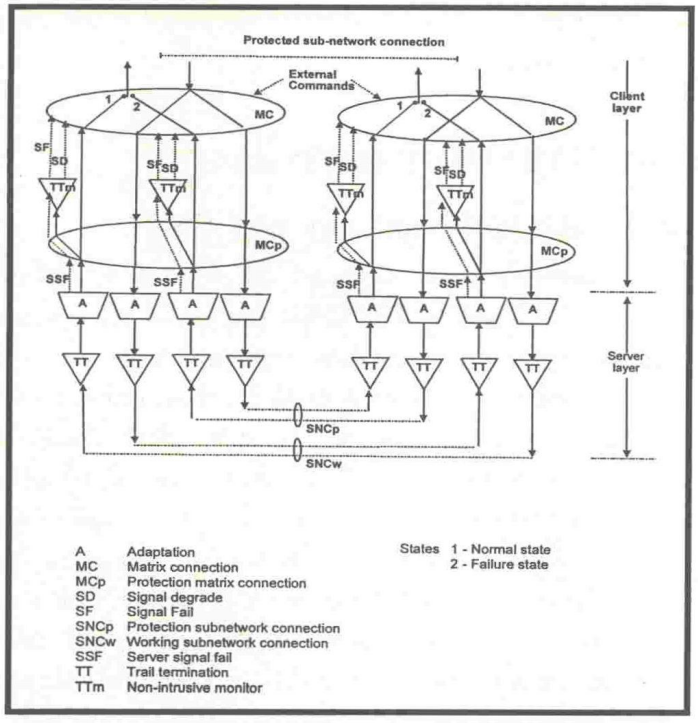


รูปที่ 20 Functional model for subnetwork connection protection with inherent monitoring (SNC/I) by means of a server signal fail

SNC/I (inherently monitored) จะเป็นการป้องกันการเกิด failures ใน server layer กระบวนการป้องกัน (protection process) จะถูกดำเนินการโดย client layer และกระบวนการตรวจจับ failures (defect detection process) จะถูกดำเนินการโดย server layer ผลการตรวจจับหรือสถานะการตรวจจับของ server layer จะถูกส่งให้กับ client layer โดยสัญญาณ server signal fail (SSF) ดังแสดงในรูปที่ 20 การป้องกันแบบ 1+1 single-ended เท่านั้นที่สามารถนำมาใช้กับ SNC/I ได้ ซึ่งหมายความว่า เครื่องส่งจะถูกบริดจ์อย่างถาวรไปยัง path ที่ใช้งานและ path ที่ใช้ป้องกัน ทางด้านเครื่องรับก็จะเลือก path ที่การรับสัญญาณดีกว่า ดังนั้น SNC/I จึงไม่จำเป็นต้องใช้โปรโตคอล APS

SNC/N (non-intrusively monitored) จะเป็นการป้องกันการเกิด failures ใน server layer และการเกิด failures และ degradations ใน client layer ดังในแสดงในรูปที่ 21 การป้องกันแบบ 1+1 single-ended เท่านั้นที่สามารถนำมาใช้กับ SNC/N ได้ เช่นเดียวกับ SNC/I

SNC/S (sublayer monitored) เป็นวิธี SNC ที่ยังคงอยู่ในช่วงทำการศึกษาอยู่โดย ETSI วิธีการนี้จะแทรก sublayer เพิ่มเติมที่มีฟังก์ชันของ non-intrusive monitoring trail terminator อยู่ภายใน ณ ขณะนี้ดูเหมือนว่า sublayer ที่จะนำมาใช้คือ tandem connection sublayer เทคนิคการเพิ่ม sublayer นี้ ทำให้สามารถใช้การป้องกันได้ทั้งแบบ 1+1 และ 1:1 การป้องกันแบบ 1+1 อาจเป็นแบบ single-ended หรือ dual-ended ก็ได้ ส่วนแบบ 1:1 อาจมีการส่ง extra traffic ด้วยก็ได้ ในกรณีของการป้องกันแบบ 1+1 dual-ended หรือแบบ 1:1 จะต้องใช้โปรโตคอล APS ด้วย เพื่อที่จะควบคุมการบริดจ์และการสวิตช์ทั้งสองปลาย การป้องกันแบบ 1:n สามารถนำมาใช้ได้ด้วยถ้าจะมีการพัฒนา



รูปที่ 21 Functional model for subnetwork connection protection with non-intrusive monitoring (SNC/N)

ต่อไปในอนาคต การทำงานของ APS จะต้องรวดเร็วเท่าที่เป็นไปได้ เพื่อให้เวลาที่ใช้ในการสวิตช์ป้องกันเท่ากับ 50 ms

การทำงานร่วมกันระหว่างการป้องกันแบบต่าง ๆ (Protection interworking)

ในทางปฏิบัติ โครงข่ายแบบ ring อย่างง่าย ๆ ที่อธิบายในตอนต้น มักจะไม่เพียงพอสำหรับทราฟฟิกและลักษณะทางภูมิศาสตร์ที่เป็นจริงของโครงข่าย ทำให้ต้องใช้โครงสร้างของโครงข่ายที่ซับซ้อนมากกว่า ด้วยเหตุนี้จึงเป็นไปได้ที่อาจจะมีการต่อระหว่าง ring กันเกิดขึ้น การทำงานร่วมกันและการเข้ากันได้ของการป้องกันแบบต่าง ๆ ในโครงข่ายต่าง ๆ ซึ่งอาจจะเป็นของคนละ operator กัน เป็นสิ่งสำคัญที่จะต้องพิจารณา

โหนดที่ต่อ 2 ring เข้าด้วยกันถูกเรียกว่า โหนดเชื่อมต่อ (interconnecting node) โหนดนี้อาจจะเป็น DXC (digital cross-connect) หรือเกิดจากการต่อ ADM เข้าด้วยกัน ไม่มีทางออกที่ถูกต้องแน่นอนทางเดียวสำหรับการทำฟังก์ชันของโหนดเชื่อมต่อ การต่อระหว่าง ring ด้วย ADM จะง่ายกว่าการใช้ DXC ซึ่งมีหลายอินเตอร์เฟสสำหรับเชื่อมต่อ

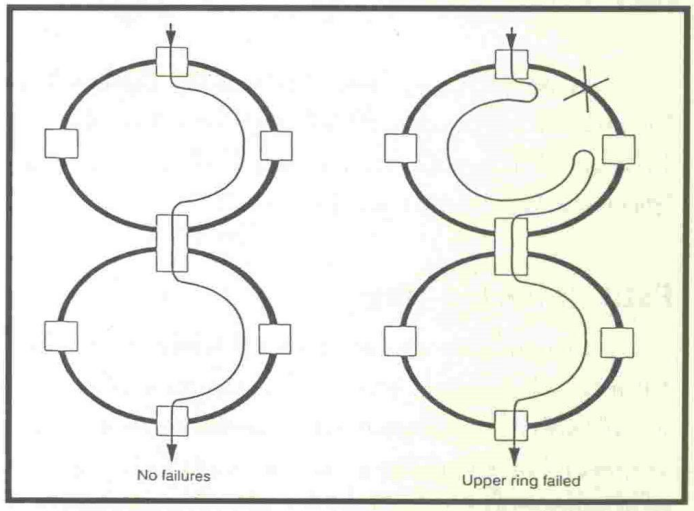
วิธีการป้องกันแต่ละแบบเหมาะสมกับโทโปโลยีของโครงข่ายที่แตกต่างกันออกไป บางคนคิดว่าโครงข่ายแบบ mesh ควรจะใช้ path protection เช่น SNC จะดีที่สุด ขณะที่คนอื่นบางทีต้องการให้เวลาที่ใช้ในการสวิตช์ป้องกันเร็วกว่า SNC ดังนั้นจึงอยากที่จะใช้ multiplex section trail protection ring มากกว่า โครงข่ายระบบสื่อสัญญาณที่มีอยู่ในปัจจุบันได้มีการนำการป้องกันแบบ SNC เข้ามาใช้แล้ว ปัญหาหนึ่งที่เกิดกับ path protection คือ การสวิตช์ป้องกันอาจเกิดห่างจากจุดที่เกิด failure จริง ๆ ไกลมาก เช่นในเครือข่ายของ operator รายอื่น ทำให้เกิดปัญหาได้ เพราะไม่มี operator ใดที่ต้องการให้ทราฟฟิกในโครงข่ายของตนเองได้รับผลกระทบที่มาจาก operator อื่น

ณ ขณะนี้ แทบจะไม่มีเอกสารใดที่อธิบายเกี่ยวกับการทำงานร่วมกันระหว่างการป้องกันแบบต่าง ๆ ETSI กำลังอยู่ในช่วงทำข้อกำหนดเกี่ยวกับเรื่องดังกล่าวนี้ ข้อกำหนดที่ตรงกันของ ITU จะเป็น Draft specification ของ G.SHR-2

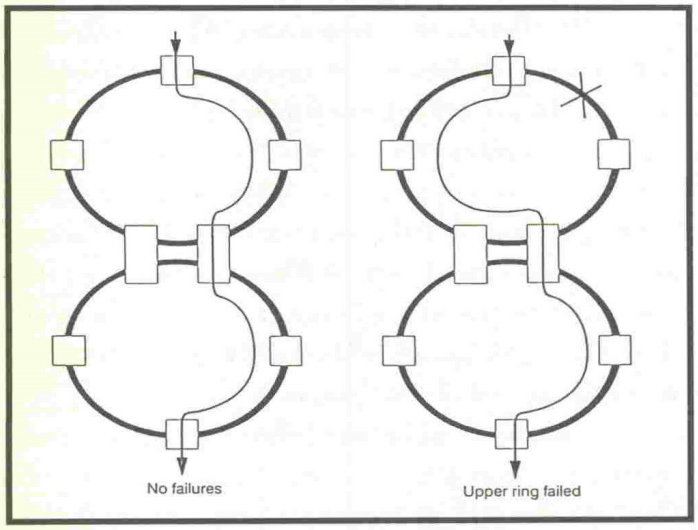
MS trail protection rings

Multiplex section trail shared protection ring และ Dedicated protection ring ที่ใช้ line switching จะให้การป้องกันที่รวดเร็วต่อการเกิด failures ของ link และอุปกรณ์ทางแสง MS trail protection rings ที่ถูกต่อเข้าด้วยกัน จะทำงานเป็นอิสระจากกัน ในกรณีที่โหนดหนึ่งเกิด fail ขึ้นมา โหนดที่อยู่ติดกับโหนดที่ fail เท่านั้นที่จะทำการลูปป้องกัน

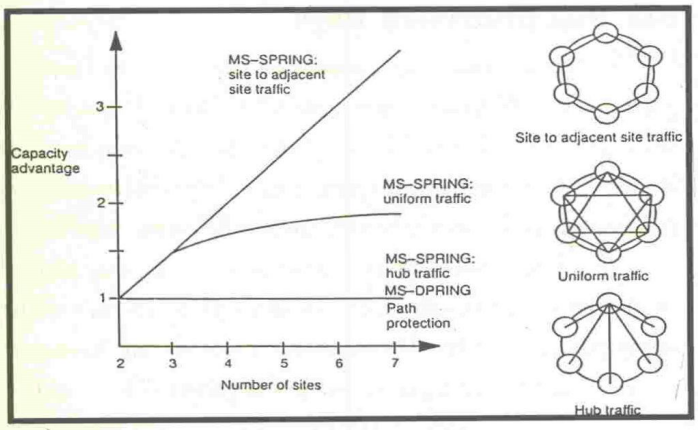
รูปที่ 22 แสดงตัวอย่างของ MS trail protection ring 2 ring ที่ต่อเข้าด้วยกันด้วยโหนดเชื่อมต่อโหนดเดียว ถ้าไม่มี failures ทราฟฟิกก็จะถูกส่งทาง trail ใช้งานโดยตลอดทั้งสอง ring ถ้า link ใน ring บนเกิด fail ขึ้นมา โหนดที่อยู่ติดกับ failure ก็จะลูปทราฟฟิก



รูปที่ 22 Two MS trail protection rings interconnected by one node.



รูปที่ 23 Path protected rings interconnected by two nodes.



รูปที่ 24 Capacity utilization

การต่อระหว่าง ring อาจจะใช้ 2 โหนดก็ได้ ถ้าโหนดเชื่อมต่อโหนดหนึ่งเกิด fail ขึ้นมา traffic ใช้งานของโหนดที่ fail ก็จะไปทางอีกโหนดหนึ่ง ซึ่งโหนดนั้นควรจะลูป trail ที่ใช้ป้องจาก ring ด้านบนไปยัง trail ที่ใช้ป้องกันของ ring ด้านล่าง

Path protected rings

Path protected rings อาจถูกต่อเข้าด้วยกันด้วยโหนดเชื่อมต่อโหนดเดียวหรือ 2 โหนด รูปที่ 23 เป็นตัวอย่างการต่อด้วย 2 โหนด ทราฟฟิกที่เข้า ring ด้านบนจะถูกบริดจ์ส่งออกทั้งสองทาง เครื่องรับที่โหนดเชื่อมต่อก็จะสวิตช์เลือกทราฟฟิกและส่งเข้า ring ด้านล่าง ซึ่งจะถูกบริดจ์ส่งออกทั้งสองทางเช่นกัน

โหนดเชื่อมต่อทั้งสองโหนด จะป้องกันซึ่งกันและกัน โหนดหนึ่งจะเป็นโหนดหลัก (primary node) ซึ่งจะถูกใช้งานเป็นหลัก ถ้าโหนดหลักเกิด fail ขึ้นมา อีกโหนดหนึ่งซึ่งเรียกว่า โหนดป้องกัน (protection node) จะถูกนำมาใช้แทน

การเปรียบเทียบวิธีการป้องกัน

การใช้ประโยชน์ capacity ของ ring

Multiplex section trail shared ring protection จะมีข้อดีของการใช้ประโยชน์ capacity ได้ดีกว่า multiplex section trail dedicated ring protection และ path protection ในบางแพทเทอร์นของทราฟฟิก เนื่องจากความสามารถของ MS-SPRING ที่จะใช้ capacity ที่สำรองไว้ป้องกันของ multiplex section ต่าง ๆ เอามาใช้ร่วมกันได้ ดังแสดงในรูปที่ 24 แพทเทอร์นทราฟฟิกมีความแตกต่างกันออกไปขึ้นอยู่กับลักษณะการใช้งาน MS-SPRING จะมีการใช้ประโยชน์แบนด์วิดธ์หรือ capacity ได้ดีที่สุดเมื่อทราฟฟิกมีลักษณะการส่งระหว่าง 2 site ที่อยู่ติดกันเท่านั้น และถ้าแม้แพทเทอร์นทราฟฟิกมีลักษณะที่ uniform การใช้ประโยชน์ capacity ก็ยังดีขึ้นได้ถึง 50 กว่าเปอร์เซ็นต์ แต่ถ้าแพทเทอร์นทราฟฟิกเป็นแบบ hub การใช้ capacity จะเป็นเดียวกับ MS-DPRING หรือ path protection

ข้อดีของ path protection เมื่อเทียบกับ MS trail protection ก็คือว่าเส้นทางหรือ path ทั้งหมดไม่จำเป็นต้องถูกป้องกัน Operator สามารถเลือกที่จะป้องกันเฉพาะบาง path หรือบาง services เท่านั้นที่สำคัญ services ไหนที่มีความสำคัญน้อยกว่าก็ไม่จำเป็นต้องป้องกัน ข้อดีอีกอย่างก็คือความเป็นไปได้ที่จะขยายขอบเขตการป้องกันของ path protection ให้เป็นการป้องกันจากต้นทางถึงปลายทางได้ (end-to-end path protection) ส่วนข้อเสียของ path protection ก็คือ การตรวจจับพบ failure อาจอยู่ห่างจากจุดที่เกิด failure จริง ๆ ไกลมาก บางทีไปอยู่ในเครือข่ายของ operator รายอื่น

Performance ของการป้องกัน

Performance ของวิธีการป้องกันแต่ละแบบ ได้ถูกเปรียบเทียบในตารางที่ 3 และ 4 วิธีการป้องกันได้ถูกแบ่งออกเป็น 2 ประเภทหลัก ๆ คือ MS trail และ path protection ทั้งสองประเภทนี้สามารถที่จะป้องกัน line failures อันเนื่องจากเคเบิลขาดหรืออุปกรณ์ทางแสงใช้การไม่ได้ ส่วน node failures สามารถที่จะป้องกันได้เช่นกันถ้าไม่ใช่โหนดด้านส่งหรือโหนดด้านรับ ในกรณีของ path protection นั้นยังสามารถป้องกันการเกิด failures หรือ defectes จากพอยน์เตอร์ TU และ AU ได้ และถ้าเป็น linear VC trail protection และ SNC/N ด้วยแล้ว ก็ยังสามารถป้องกันการ cross-connect ผิดพลาดที่ถูกดำเนินการโดย network management ได้อีกด้วย

เวลาที่ใช้ในการสวิตช์ป้องกันถูกคำนวณจากการตรวจจับพบข้อบกพร่องที่เกิดขึ้น ซึ่งควรน้อยกว่า 50 ms สำหรับวิธีการป้องกัน MS

ตารางที่ 3 Protection performance comparison

	MS trail linear protection	MS trail shared protection ring	MS trail dedicated protection ring	LO/HO SNC/I	LO/HO SNC/N	Linear LO/HO VC trail protection
Extent of protection						
- line failures	yes	yes	yes	yes	yes	yes
- node failures	yes	yes	yes	yes	yes	yes
- pointer failures	no	no	no	yes	yes	yes
- cross-connection	no	no	no	no	yes	yes
- payload composition	no	no	no	no	no	no
Protection switching time	≤50 ms	≤50 ms	≤50 ms	>50 ms	>50 ms	>50 ms
Ability to have mixed protected/unprotected traffic	no	no	no	yes	yes	yes
Ability to carry extra traffic on protection trail	yes(1	yes	no	no	no	yes[1]
APS protocol	Required [2]	Required	Required	Not required	Not required	Required [2]

(1 Not possible for 1+1 protection schemes (2 Not required for 1+1 single ended protection

ตารางที่ 4 Protection method comparison

	Advantages	Disadvantages
MS trail linear protection	- fast protection switching	
MS trail shared protection ring	- Efficient use of traffic in uniform and site to adjacent site traffic - fast protection switching	- Complex APS and ring management
MS trail dedicated protection ring	- Simper than MS-SPRING - fast protection switching	- No shared protection band width
LO/HO SNC/I	- Easy to implement - possibility to protect only selected paths	- slow protection switching [1] - detection of failures only from server layer - detection of the defect far away from the failure
LO/HO SNC/N	- possibility to protect only selected paths	- slow protection switching [1] - detection of the defect far away from the failure - expensive when many VCs are protected
Linear LO/HO VC trail protection	- possibility to protect only selected paths	- slow protection switching [1] - detection of the defect far away from the failure - expensive when many VCs are protected

(1 When a high number of protected VCs are involved

trail ขณะที่ path protection อาจจะนานกว่า (ประมาณ 100-200 ms) ทั้งนี้เพราะว่าอาจจะมีอยู่หลาย VC ที่มีการเชื่อมต่อแยกจากกันโดยฟังก์ชัน cross-connect

การป้องกันของ MS trail นั้นจะป้องกันทราฟฟิกทั้งหมดที่อยู่ใน multiplex section จึงเป็นเหตุผลที่ไม่สามารถทำให้ทราฟฟิกที่ไม่ถูกป้องกันรวมอยู่ด้วยกันได้ แต่ของ path protection สามารถเลือกที่จะป้องกันบาง path หรือบางทราฟฟิกได้ตามที่ต้องการ

Capacity ที่สำรองไว้ป้องกันของ MS trail shared protection ring อาจนำมาใช้ในการส่ง extra low priority traffic ได้ และเป็นไปได้เช่นเดียวกันสำหรับวิธีการป้องกันแบบ MS trail linear (1:n) และ linear LO/HO VC trail (1:n) ส่วนวิธี MS trail dedicated protection ring และ SNC protection ไม่สามารถที่จะส่ง extra traffic ไปบน trail ที่ใช้ป้องกันได้

โปรโตคอล APS ถูกต้องการเสมอสำหรับ MS trail protection rings แต่วิธี MS trail linear และ linear LO/HO VC trail จะสามารถทำงานโดยไม่ใช้โปรโตคอลได้ถ้าทั้งสองวิธีใช้การป้องกันแบบ 1+1 single-ended มิฉะนั้นจะต้องใช้โปรโตคอล APS ส่วนวิธีการป้องกันแบบ SNC/I และ SNC/N ไม่ต้องใช้โปรโตคอล APS เลย เพราะว่าการทำงานเป็นแบบป้องกัน 1+1 single-ended